

## MEDIDA DE SECCION RECTA RADAR CON ONDA ESFERICA EN CAMPO PROXIMO

J. Palau, A. Broquetas, L. Jofre, A. Cardama  
Depto. Teoría de la Señal y Comunicaciones, Grupo AMR  
ETS Ingenieros Telecomunicación Barcelona - UPC

### ABSTRACT

The paper presents a new Inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR) algorithm intended for Radar Cross Section (RCS) measurement from scattering fields. The method is based on a spherical wave near-field illumination of the target, overcoming the requirements of an expensive Compact Range facility to produce a plane wave illumination. The formulation and implementation of the algorithm are described. Some experimental results obtained in anechoic chamber are presented, showing a similar response than the conventional plane wave based methods, so that this new method seems a fine alternative to them.

### INTRODUCCION

Uno de los parámetros básicos necesarios para caracterizar un blanco radar es su Sección Recta Radar (RCS). La forma usual de medir este parámetro consiste en iluminar el blanco con ondas planas y medir el campo dispersado, pero cuando aumentamos la frecuencia o el tamaño del blanco, esta iluminación es cada vez más difícil de obtener con la pureza necesaria. En efecto, como la medida suele realizarse en cámara anecoica para evitar reflexiones, la distancia mínima necesaria para garantizar condiciones de campo lejano precisa de cámaras de grandes dimensiones, caras y de difícil disponibilidad. Los campos compactos permiten superar este inconveniente pero adolecen de problemas de ajuste, son poco flexibles y costosos.

Por estos motivos se ha desarrollado un método original y alternativo de medida de RCS basado en ondas esféricas, cuya obtención es más fácil y precisa. Este nuevo método consta de dos etapas:

- La primera, cuyos resultados fueron presentados en el pasado Simposium de la URSI [1], obtiene la imagen de reflectividad del blanco a partir de las medidas con iluminación en onda esférica.
- La segunda etapa, que presentamos en esta comunicación, evalúa la RCS a partir de la imagen de reflectividad, basándose en las técnicas de Apertura Sintética Inversa (ISAR) de ondas planas que proporcionan imágenes utilizando técnicas de Transformada de Fourier Bidimensional, según [2].

### FORMULACION DEL ALGORITMO

El algoritmo arranca con una expresión como la siguiente que corresponde al caso ISAR de ondas planas y viene expresada en coordenadas cartesianas.

$$RCS(f, \theta) = e^{-j2\frac{2\pi}{\lambda}R} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \psi(x, y) \cdot e^{j2\frac{2\pi}{\lambda}(x \cos \theta + y \sin \theta)} dx dy$$

Podemos comprobar que, salvo constantes, esta expresión es formalmente idéntica a una Transformada de Fourier Bidimensional de la imagen de reflectividad cartesianas. En efecto, el espectro transformado de esta imagen de reflectividad se calcularía como:

$$\Psi(f_x, f_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \psi(x, y) \cdot e^{-j2\pi(x f_x + y f_y)} dx dy$$

Por tanto, podemos calcular la sección recta radar del blanco en cuestión evaluando el espectro transformado de su imagen de reflectividad en las frecuencias espaciales adecuadas:

$$RCS(f, \theta) = \Psi(f_x, f_y) \Big|_{f_x = -\frac{2}{\lambda} \cos \theta, f_y = -\frac{2}{\lambda} \sin \theta}$$

Con este método, tres son las operaciones fundamentales a realizar para obtener la sección recta a partir de la estimación de la imagen de reflectividad que nos ofrece la inversión ISAR de ondas esféricas presentado en [1]:

- Una Interpolación Bidimensional recalcularía la imagen de reflectividad sobre una parrilla cartesiana.
- Una Transformada de Fourier Bidimensional obtendría el espectro de la imagen de reflectividad.
- Una última Interpolación Bidimensional, ahora en el dominio transformado, evaluaría los puntos del espectro de interés, que para ángulos y frecuencias equiespaciados se sitúan sobre una malla polar.

El siguiente diagrama de bloques esquematiza el proceso que seguiremos para obtener la sección recta del blanco a partir de una estimación de su imagen de reflectividad.



Fig la Proceso de obtención del parámetro RCS

Una vez obtenido el parámetro RCS será necesario normalizar los resultados, pues lo más probable es que después de realizar operaciones complejas y obviar constantes de módulo y fase en varias ocasiones, estos resultados se hayan alterado. Sin embargo, antes de iniciar el proceso de normalización es necesario escoger una referencia que nos proporcione un criterio de normalización para pasar de una escala relativa a otra absoluta. En todo caso, ni la referencia ni el criterio de normalización tienen porque ser únicos y para determinar la corrección en la elección de los mismos deberemos remitirnos a las pruebas de validación del método.

La referencia escogida es la respuesta impulsional o PSF (Point Spread Function), consistente en un scatter unitario (módulo uno, fase cero) situado en el origen de coordenadas y cuyos campos medidos son iguales y de valor unidad y para la cual se espera que su RCS valga la unidad (módulo uno, fase cero) para cualquier frecuencia de iluminación y cualquier ángulo de observación. Por tanto, un posible criterio de normalización consistirá en realizar el cociente punto a punto entre el valor de RCS obtenido mediante el proceso anterior y el correspondiente a la PSF, de manera que si el blanco fuera la PSF el resultado final sería el deseado valor unidad.

Por tanto, si denominamos  $PSF(\rho, \phi)$  a la imagen de reflectividad de la respuesta impulsional y  $RCS(f, \theta)$  a los valores de RCS que se obtienen aplicando el proceso del apartado anterior a la misma, el siguiente diagrama de bloques resume el proceso global y definitivo para obtener el parámetro RCS de un blanco en escala absoluta (en dBsm) a partir de las medidas de campo dispesado,  $G(f, \theta)$ .

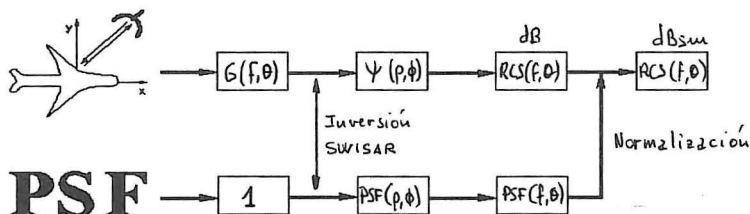


Fig 1b Proceso definitivo de obtención de RCS, incluyendo normalización

A parte de la simplicidad y precisión en el proceso de medida que supone el hecho de utilizar ondas esféricas, al focalizar las medidas realizadas en todos los puntos del blanco para obtener la imagen de reflectividad, podemos incorporar completamente efectos tales como el diagrama de radiación no isotrópico de las antenas o la existencia de un ángulo biestático.

En el primer caso podremos focalizar más energía hacia el blanco, aunque tampoco es aconsejable utilizar antenas muy directivas ya que entonces el apuntamiento es crítico y el sistema pierde robustez. En el segundo, no será necesario recurrir al Teorema de Equivalencia Biestática [3] que se aplica cuando trabajamos con ondas planas y que impone muchas restricciones.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

Con objeto de validar definitivamente el nuevo algoritmo y después de una etapa de simulaciones numéricas, se han realizado medidas en cámara anecoica utilizando la instrumentación descrita en [4] pero sustituyendo el Compact Range (parábola + alimentadores) por dos pequeñas bocinas de banda K, mucho más baratas y fáciles de montar que el sistema compacto. En cuanto a la calibración, hemos aplicado la denominada calibración primaria descrita en [4] añadiendo inventanado temporal.

En las últimas hojas del artículo se presentan los resultados correspondientes a un cilindro metálico con tapas de 228 mm. de longitud y 45 mm. de diámetro (figura 2) y los de una maqueta metalizada correspondiente al modelo B747 (figura 3). En ambos casos, el barrido frecuencial ha sido de 18 a 26 GHz. trabajando con polarización HH.

Para los dos ejemplos, se comprueba que tanto la imagen de reflectividad como el corte de RCS a 24 GHz. son muy similares para las situaciones de ondas planas y esféricas, tanto en la forma como en los valores absolutos, lo cual nos permiten validar el nuevo sistema en general y el método de normalización escogido en particular.

## CONCLUSIONES

Este nuevo método de medida de RCS a partir de iluminación con onda esférica nos permite superar completamente todas las limitaciones de espacio y complejidad de los métodos convencionales de ondas planas, debiéndose únicamente cumplir que la distancia de medida  $R$  sea dos veces la dimensión máxima del objeto en la dimensión acimutal  $D$  y que en la dimensión vertical se cumpla la condición de campo lejano (la inmensa mayoría de blancos se ajustan a esta geometría).

Por otra parte, podemos subir en frecuencia sin que aparezcan problemas técnicos ni de precisión en la formación del frente de onda. Además, como el montaje del sistema físico de adquisición de medidas es extremadamente simple, rápido y flexible (y además no requiere ajustes finos porque ninguno de sus parámetros es crítico), cambiar de banda frecuencial de trabajo requiere únicamente cambiar las bocinas.

La contrapartida a toda esta simplicidad y robustez mecánicas es la necesidad de unos algoritmos informáticos intermedios entre las medidas y la RCS, pero que en general no requieren más allá de 30 min. de CPU incluyendo los dos pasos: obtención de la imagen y cálculo de la RCS.

Por otra parte, hay una línea de trabajo muy interesante en el campo del análisis polarimétrico en el que posiblemente el nuevo método competiría con ventaja con los de ondas planas, ya que no le afectan los errores biestáticos y de estigmatismo de las ondas planas debidos a la imposibilidad material de colocar todos los alimentadores exactamente en el foco de la parábola.

## REFERENCIAS

- [1] A. Broquetas, A. Garriga, L. Jofre, A. Cardama, "Formación de imágenes de blancos radar mediante técnicas SWISAR en campo próximo", Actas del VI Simposium Nacional de la URSI-91, Vol. I, pp. 481-485, Cáceres.
- [2] D. L. Mensa, "High resolution radar imaging", Artech House, Dedham 1982.
- [3] R. Kell, "On the derivation of bi-static RCS from mono-static", Proc. IEEE, Vol. 71, no. 2, February 1983
- [4] X. Xarrié, A. Broquetas, L. Jofre, "Diseño y construcción de un sistema Compact Range reducido hasta 40 GHz.", Actas del V Simposium Nacional del Comité Español de la URSI, pp. 874-878, Vigo

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología. CICYT (TIC 88-288

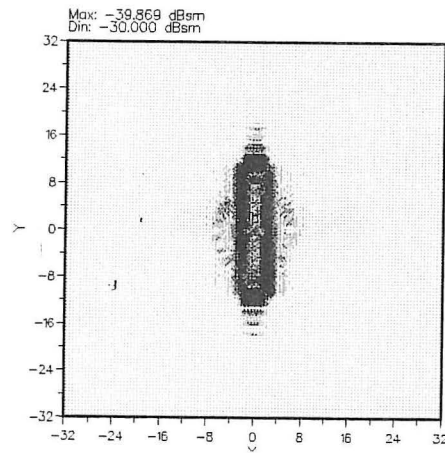
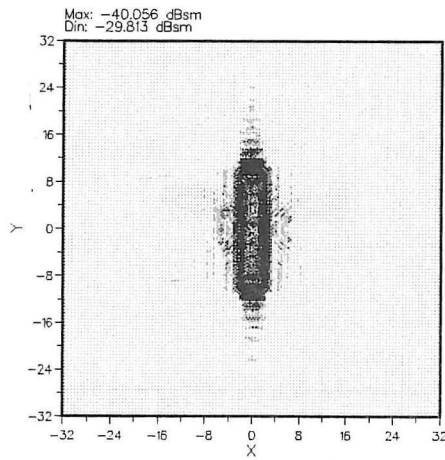
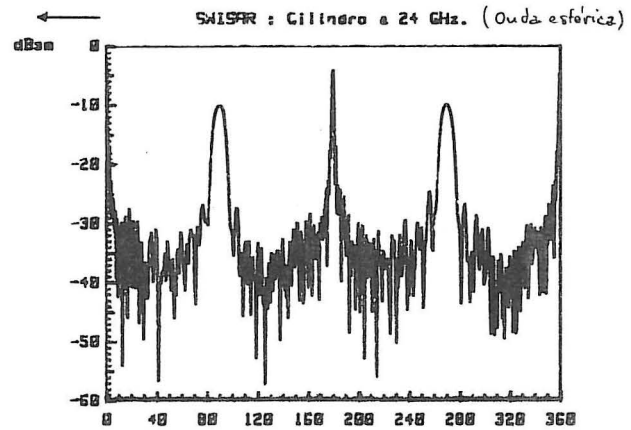
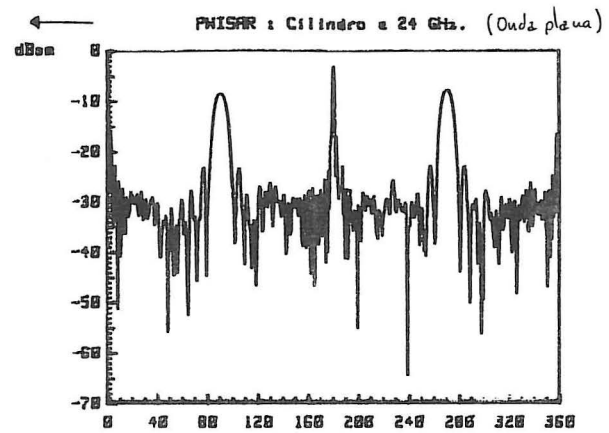


Fig 2 Cortes de RCS e imágenes de reflectividad del cilindro

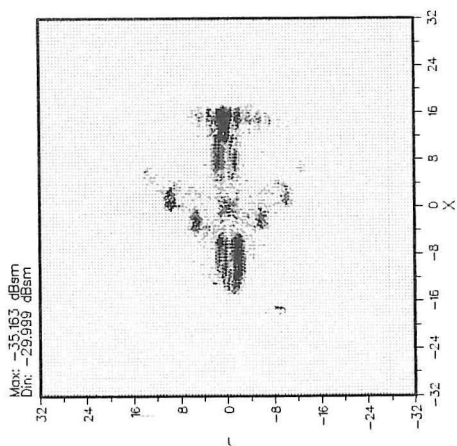
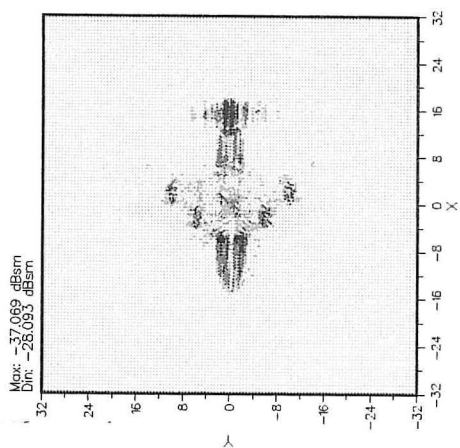
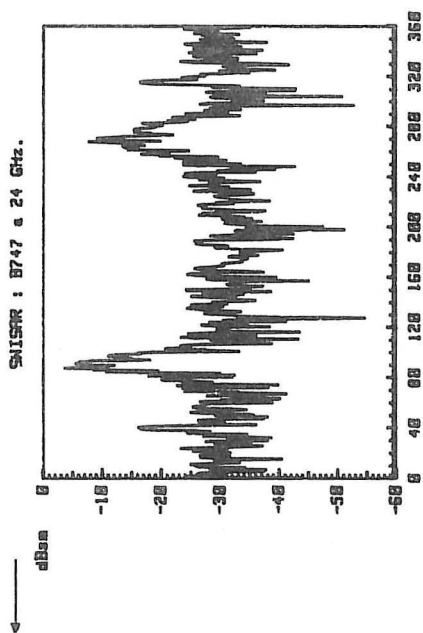
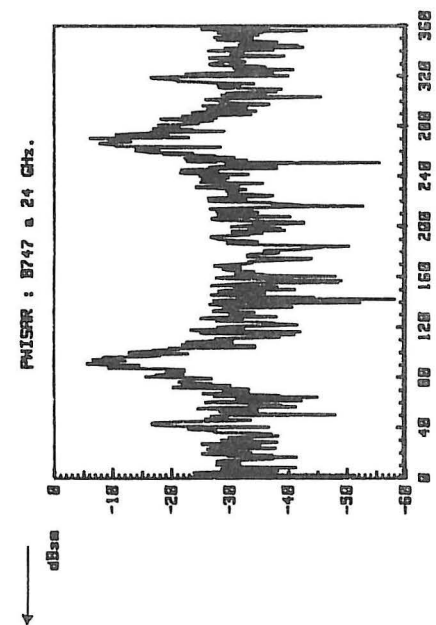


Fig 3 Cortes de reflectividad e imagenes de reflectividad del B747